



PARTİKÜLER MADDE VE KARBONDİOKSİT İÇİN İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ İNDEKSİ (İHKİ) HESAPLAMASI: OKUL ÖRNEĞİ

İnci Arıkan¹ , Ömer Faruk Tekin¹ 

1- Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı. Kütahya, Türkiye.

Özet

Çocukların vakitlerinin büyük bir bölümünü geçirdikleri okul iç ortam havasından etkilenimleri ve sonuçları konusunda hassasiyet göstermemiz önemlidir. Bu çalışmada bazı okullarda iç ortam hava kalitesini değerlendirmek ve bununla ilgili projelerde kullanmak için İç Ortam Hava Kalitesi İndeksi (İHKİ) geliştirmek amaçlanmıştır. 1-31 Ekim 2018 tarihleri arasında Kütahya ilinde yer alan okullarda yapılan kesitsel bir çalışmadır. Kırsal ve kentsel bölgelerden seçilen okullarda, 5 bina ve 42 sınıf iç ortamında sıcaklık, nem, PM_{2.5} ve PM₁₀ ve CO₂ ölçümleri yapılmıştır. İHKİ; PM_{2.5}, PM₁₀ ve CO₂ değerlerinin DSÖ kriterlerine bölünüp aritmetik ortalaması alınarak hesaplandı. Sıcaklık ve nem ölçümleri normal değerler arasında olduğundan hesaplama katılmadı. İHKİ yükseldikçe İHK kötü olarak yorumlanmaktadır. Ölçümsel verilerin değerlendirmesinde ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri, ilişki için Spearman korelasyon analizi kullanıldı. İHKİ ortalaması 4,85±1,63 idi. İHKİ kentsel bölgede yer alan okulda kırsal alana göre daha kötü saptandı (p=0,024). İHKİ ile sınıfların hacimleri (metreküpü) arasında korelasyon bulunamazken (r=0,156-p=0,331), sınıf mevcudu arttıkça İHKİ'nin kötüleştiği (r=0,384-p=0,013) saptandı. Çalışmamızda İHKİ değeri, kentsel bölgede ve mevcudu fazla olan sınıflarda daha yüksek olarak bulundu. Çalışmamızda iç ortam havasındaki PM ve CO₂ değerleri kullanarak İHKİ hesabı yapıldığından, farklı iç ortamlarda biyolojik ve kimyasal kirletici parametrelerin dahil edilerek hesaplama yapılmasının daha yararlı olacağı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Hava kalitesi, iç ortam, partiküler madde, karbondioksit.

CALCULATION OF INDOOR AIR QUALITY INDEX (IAQI) FOR PARTICULATE MATTER AND CARBONDIOXIDE: A SCHOOL SAMPLE

It is important for us to be sensitive about the effects and consequences of the school indoor air where children spend most of their time. In this study, it was aimed to develop Indoor Air Quality Index (IAQI) to evaluate indoor air quality in some schools and to use in related projects. This is a cross-sectional study conducted in schools in Kütahya province between 1-31 October 2018. In schools selected from rural and urban areas, temperature, humidity, PM_{2.5}, PM₁₀ and CO₂ measurements were calculated in 5 buildings and 42 classrooms indoors. The IAQI was calculated by dividing PM_{2.5}, PM₁₀ and CO₂ values by WHO criteria and taking the arithmetic average. Since temperature and humidity measurements are between normal values, they were not included in the calculation. As IAQI increases, indoor air quality is interpreted as bad. Average, median and standard deviation values were used in the evaluation of the measurement data and Spearman correlation analysis was used for the relationship. The average of the IAQI was 4.85±1.63. IAQI was found to be worse in the school located in the urban area, than the rural area (p=0.024). While there was no correlation between IAQI and volumes (cubic meters) of classrooms (r=0.156-p=0.331), it was found that the IAQI worsened as the class size increased (r=0.384-p=0.013). In our study, the IAQI value was higher in the urban area and in crowded classes. In our study, since the calculation of IAQI is made by using PM and CO₂ values in indoor air, it can be said that it will be more beneficial to calculate by including biological and chemical pollutant parameters in different indoor environments.

Keywords: Air quality, indoor, particulate matter, carbondioxide.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Arş. Gör. Dr. Ömer Faruk Tekin
Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı AD. Kütahya, Türkiye.

e-posta / e-mail: oftekin@gmail.com

Geliş tarihi / Received : 06.03.2020, **Kabul Tarihi / Accepted:** 04.05.2020

Nasıl Atıf Yaparım / How to Cite: Arıkan İ, Tekin ÖF. Partiküler Madde ve Karbondioksit İçin İç Ortam Hava Kalitesi İndeksi Hesaplaması: Okul Örneği. ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi. 2020;5(2):188-95.

süresince kapının ve pencerelerin kapalı olması sağlandı. Ölçümler kapıdan ve pencerelerden en uzak noktada yapıldı. Ölçümlerde “Partikül Ölçüm Cihazı” ve “Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı” kullanıldı.

Partikül ölçüm cihazı; 0,3 – 25 µm arasındaki değerleri 0,1 CFM (2,83 LPM) hava akış oranı ile saymaktadır. 25,4 cm x 12,9 cm x 11,4 cm boyutlarında, 1 kg ağırlığında taşınabilir bir cihazdır. Kolay konfigüre edilebilir olup 6 kanala sahiptir ve toz parçacıklarını 25 seçenekten 6 seçeneği kişiselleştirerek farklı boyuttaki parçacıkları ölçerek kaydetmek mümkündür. Sıcaklık ve bağıl nem değerlerini de ölçmektedir. Yapılan ölçümler ISO 14644-1, E GMP Annex 1 veya FS 209'e uygun raporlanabilmektedir. Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı basit, manuel kullanılan, mobil, sensörlü bir cihaz olup ölçümler

için farklı problemler kullanılmaktadır. Çalışmamızda iç ortam hava kalitesi (IAQ) probu kullanılarak ortamın karbondioksit seviyesi, sıcaklık ve nem ölçümü yapıldı. Cihazın ölçüm aralıkları; sıcaklık için -100 °C ile +400 °C, nem için 0 ila +100 yüzde Rh ve CO₂ için ise 0 ila +10000 ppm aralığındadır.

PM_{2.5}, PM₁₀ ve CO₂ indeks değerleri kullanılarak İHKİ hesaplandı. PM_{indeks}; ölçülen PM_{2.5} ve PM₁₀ değerlerinin DSÖ kılavuzunda yer alan PM_{2.5} için 25 µg/m³, PM₁₀ için 50 µg/m³ değerlerine bölünmesiyle elde edilmektedir. CO₂ indeksi; ölçülen CO₂ değerinin DSÖ'nün azami iç ortam CO₂ konsantrasyonu olarak kabul ettiği 1000 ppm değerine bölünüp 1 (bir) ile toplanması ile hesaplanır. İHKİ; PM_{2.5}, PM₁₀ ve CO₂ indeks değerlerinin aritmetik ortalamasından oluşmaktadır (11,12).

$$PM_{\text{indeks}} = \frac{\text{PM konsantrasyonu}}{\text{DSÖ kılavuzu}}$$

$$CO_{2\text{indeks}} = 1 + \frac{CO_2 \text{ konsantrasyonu}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$İHKİ = \frac{PM_{2.5\text{indeks}} + PM_{10\text{indeks}} + CO_{2\text{indeks}}}{3} = \frac{\sum_n İHK_{\text{indeks}}}{n}$$

Sıcaklık ve nem ölçümleri normal değerler arasında olduğundan hesaplama katılmadı. Bu haliyle PM ve CO₂ değerleri ile hesaplanan İHKİ yükseldikçe İHK kötü olarak yorumlanmaktadır.

Araştırmanın istatistikleri “IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) Statistics 20” paket programı kullanılarak elde edildi. Ölçümsel verilerin

değerlendirmesinde ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri, veriler normal dağılım göstermediğinden non-parametrik testlerden gruplar arası ölçüm değerlerini karşılaştırmada Mann Whitney U testi, ilişki için Spearman korelasyon analizi kullanıldı. İki bağımsız grupta İstatistiksel anlamlılık için p≤0,05 kabul edildi.

Bulgular

Kırsal alanda yer alan okulların sınıf hacimleri 119,71±16,09 m³ (min:104,4-max:142,1), sınıf mevcut ortalaması 14,6±4,63 (min:6-max:21), kentsel alanda olan okulun sınıf hacmi

137,75 m³ ve mevcut 32,7±4,72 (min:27-max:40) idi (Tablo 1). Okul ortamında yapılan ölçüm değerleri Tablo 2'de sunuldu.

Tablo 1: Çalışmanın yapıldığı okulların genel özellikleri.

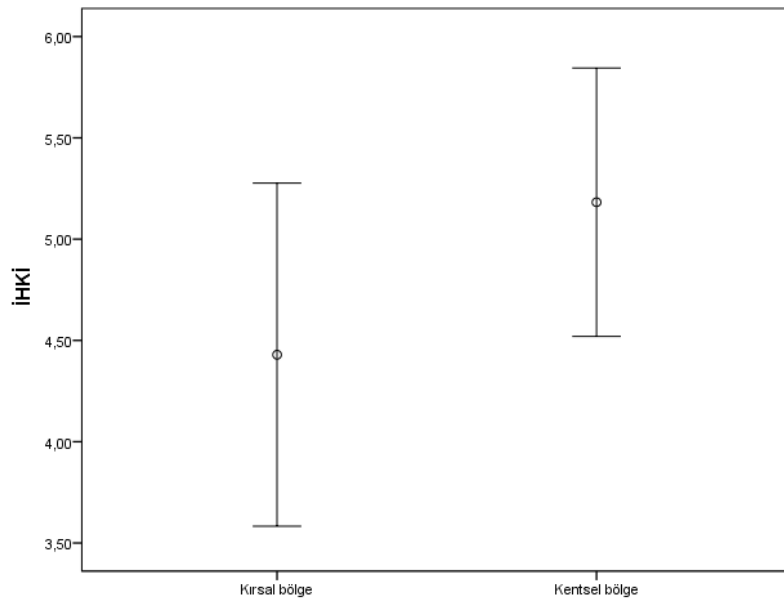
Bölge	Okul	Sınıf Alanı (m ²)	Sınıf Hacmi (m ³)	Öğrenci sayısı	Çalışma Saatleri	Sınıf Sayısı	Sınıf başına düşen öğrenci sayısı	Öğrenci başına düşen hacim (m ³)
Kır	Okul 1	42	121,8	84	08.40 – 15.40	5	16,8	7,25
	Okul 1 ek bina	49	142,1	89	08.30 – 15.50	5	17,8	7,98
	Okul 2	36	104,4	114	08.30 – 15.10	8	14,25	7,33
Kent	Okul 3	47,5	137,75	956	07.30 – 13.10	25	38,24	3,60
	Okul 3 ek bina	47,5	137,75	814	13.20 – 18.10	25	32,56	4,23

Tablo 2: Bölgelere göre ölçüm değerlerinin ortalamaları.

Bölge	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	CO ₂ (ppm)
Kırsal	23,46±1,20	52,14±3,04	14,82±8,94	244,76±190,49	1374±486
Kentsel	24,88±1,08	51,09±5,62	23,39±13,44	317,92±182,19	1691±535
Tüm ölçümler	24,27±1,32	51,54±4,67	19,72±12,37	286,57±187,11	1555±533

İHKİ ortalaması 4,85±1,63 (ortanca:4.34-min:2,6-maks:8,40) idi. İHKİ kentsel bölgede (5,18±1,53) yer alan

okulda kırsal alana (4,42±1,70) göre daha kötü saptandı (Z:-2,26-p=0,024)(Şekil 1).

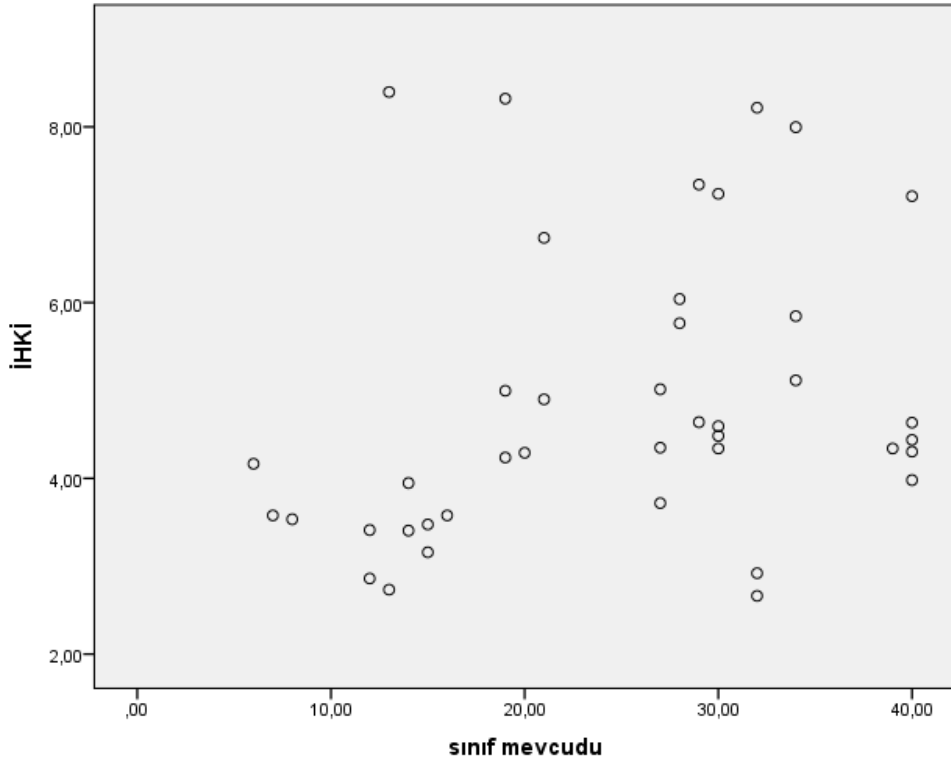
**Şekil 1.** Kırsal ve kentsel bölgelerde İHKİ değerinin dağılımı.

İHKİ ile sınıfların hacmi ve sıcaklık arasında korelasyon bulunmazken ($p>0,05$), nem ve sınıf mevcudu arttıkça,

öğrenci başına düşen hacim azaldıkça İHKİ'nin kötüleştiği ($p=0,003$ ve $p=0,013$) saptandı (Tablo 3)(Şekil 2).

Tablo 3: İHKİ ile ölçüm değerleri arasındaki korelasyon ilişkisi.

	Sıcaklık	Nem	Sınıf mevcudu	Öğrenci başına düşen hacim	Sınıf m ³
İHKİ	r -0,119	0,457	0,384	-0,287	0,156
	p 0,458	0,003	0,013	0,041	0,331



Şekil 2: İHKİ ile sınıf mevcudunun nokta dağılım grafiği.

Tartışma ve Sonuç

İç ortam hava kalitesini içeride kullanılan eşyalar, bina malzemeleri, insan aktiviteleri ve dışarıdan bina içerisine giren kirletici maddeler oluşturmakta ve bu binalarda vakit geçiren insanların sağlık, konfor ve verimlilikleri üzerine etkileri bulunmaktadır (13-15).

Özellikle çocuklarda okul iç ortam havasından etkilenim ve sonuçları konusunda hassasiyet gösterilmesi önemlidir. İç ortam hava kalitesi ile ilgili ülkemizde kirletici parametre standartları belirlenmemiştir. Bu nedenle çalışmamızda iç ortam hava kalitesi ile

ilgili genel bir fikir elde etmek için İHKİ geliştirildi. Bu indekste ölçülen PM_{2.5}, PM₁₀ ve CO₂ değerleri kullanıldı, iç ortam hava kalitesine etkili olan sıcaklık, nem gibi parametreler normal değerler arasında olduğundan indeks hesaplamasına dahil edilmedi.

PM'ler de havada asılı katı ve sıvı parçacıklarının karışımından oluşan yaygın bir hava kirleticisidir (16). İç ortamdaki PM_{2.5} ve PM₁₀'un yarısından fazlası dış ortam kaynaklıdır (5).

Branco ve ark. çocukların iç ortam hava kirliliğine kentsel alanda kırsal alana göre daha fazla maruz kaldığını ve bu iç

ortam kirliliğinin daha çok PM_{2.5} ve CO₂'den kaynaklandığını bildirmiştir (17). Bir çalışmada kırsal alandaki sınıfların iç ortam hava kalitesinin daha iyi olduğu gösterilmiştir (18). Kore'de yapılan bir çalışmada iç ortam kirleticilerinin kentsel alanda daha fazla olduğu saptanmıştır (19). Ancak Polonya'da yapılan çalışmalarda kırsal bölgedeki hava kirliliğinin kentsel bölgedeki hava kirliliğine göre daha fazla olduğu, bu farkın kırsal bölgede hava kirliliğine neden olan yakıtların kullanılmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir (11,20). Ülkemizde yapılmış çalışmada ise sınıflarda ölçülen CO₂ seviyeleri >1500 ppm üzerinde bulunmuştur (13). Sınıflardaki öğrenci sayısı arttıkça CO₂ seviyeleri de artmaktadır (21,22). Çalışma sonuçlarımız her ne kadar DSÖ limit değeri olan 1000 ppm üzerinde ise de literatürdeki diğer çalışmalar (22-24) ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Sonuç ve Öneriler

Çalışmamızda iç ortam havasındaki PM ve CO₂ değerleri kullanılarak İHKİ hesabı yapıldığından, farklı iç ortamlarda biyolojik ve kimyasal kirletici parametrelerin dahil edilerek hesaplama yapılmasının daha yararlı olacağı söylenebilir. Ayrıca İHKİ'nin normal popülasyon için oluşturulduğu,

Çalışmamızda kentsel alandaki İHKİ değeri, kırsal alandaki İHKİ değerinden daha yüksek saptandı. Ayrıca sınıf mevcudu arttıkça İHKİ'nin de arttığı, dolayısıyla iç ortam hava kalitesinin kötüleştiği bulundu. Polonya'da yapılan bir çalışmada İHKİ'nin, kırsal alandaki okullarda daha yüksek olduğu bildirilmiştir (11). Bununla birlikte literatürde okul iç ortam hava kalitesini belirten ve PM, formaldehit, uçucu organik bileşikler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, nitrojen oksit, sülfür dioksit, CO₂ gibi farklı değişkenlerin ölçümlerinin yapıldığı çok sayıda çalışma mevcut olup bu çalışmaların çoğunda sınıftaki öğrenci sayısı arttıkça ölçülen parametre değerlerinin arttığı rapor edilmiştir (25-32). Ancak her bir parametre tek başına değerlendirilmiş olup, indeks hesabı yapılmamıştır.

solunum sistemi bozuklukları ile alerjisi olan hassas gruplar için farklı yorumlanması gerektiği unutulmamalıdır. Bununla birlikte İHKİ'nin bazı çevre sağlığı proje sonuçlarının değerlendirilmesini kolaylaştırabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

1. ASHRAE Standard 62.1-2013. Ventilation for acceptable indoor air quality: American Society of heating, refrigerating and air conditioning engineers, Atlanta, GA; 2013.
2. Babarođlu A. Anaokullarında iç ortam hava kalitesi. *Tesisat Mühendisliği Derg.* 2015;23(150):5–12.
3. Morawska L, Ayoko GA, Bae GN, Buonanno G, Chao CYH, Clifford S, et al. Airborne particles in indoor environment of homes, schools, offices and aged care facilities: The main routes of exposure. *Environment International.* 2017;108:75–83.
4. Chen F, Lin Z, Chen R, Norback D, Liu C, Kan H, et al. The effects of PM 2.5 on asthmatic and allergic diseases or symptoms in preschool children of six Chinese cities, based on China, Children, Homes and Health (CCHH) project. *Environ Pollut.* 2018;232:329–37.
5. Hou Y, Liu J, Li J. Investigation of Indoor Air Quality in Primary School Classrooms. *Procedia Eng.* 2015;121:830–7.
6. Kiray M, Sisman AR, Camsari UM, Evren M, Dayi A, Baykara B, et al. Effects of carbon dioxide exposure on early brain development in rats. *Biotech Histochem.* 2014;89(5):371–83.
7. Ramalho O, Wyart G, Mandin C, Blondeau P, Cabanes PA, Leclerc N, et al. Association of carbon dioxide with indoor air pollutants and exceedance of health guideline values. *Build Environ.* 2015;93(P1):115–24.
8. Myhrvold AN, Olsen E, Lauridsen O. Indoor environment in schools-pupils health and performance in regard to CO2 concentrations. *Indoor Air.* 1996;96(4):369–71.
9. Hava Kalitesi Deđerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliđi. Resmi Gazete, 2008 <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/06/20080606-6.htm> (Eriřim tarihi: 03.03.2020).
10. Hava Kalitesi Deđerlendirme ve Yönetimi Genelgesi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/GNG2013-37HavaKalitesiDegerl.pdf> (Eriřim tarihi: 03.03.2020).
11. Mainka A, Zajusz-Zubek E. Indoor air quality in urban and rural preschools in upper Silesia, Poland: Particulate matter and carbon dioxide. *Int J Environ Res Public Health.* 2015;12(7):7697–711.
12. Wagdi D, Tarabieh K, Zeid MNA. Indoor air quality index for preoccupancy assessment. *Air Qual Atmos Health.* 2018;11:445–58.
13. Öztürk B, Düzovalı G. Okullarda hava kirliliği ve sağlık etkileri. X Ulus Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildir Kitabı. 2011;1715–23.
14. Aydın D, Mıhlayanlar E. Yüksek Konut Yapılarında İç Ortam Kalitesinin İncelenmesi. *Megaron.* 2017;12(2).
15. Kim J, De Dear R. How does occupant perception on specific IEQ factors affect overall satisfaction. In: 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge. Windsor, UK; 2012. p. 12–5.
16. Anderson JO, Thundiyil JG, Stolbach A. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *Journal of Medical Toxicology.* 2012;8(2):166–75.
17. Branco PTBS, Alvim-Ferraz MCM, Martins FG, Sousa SIV. Quantifying indoor air quality determinants in urban and rural nursery and primary schools. *Environ Res.* 2019;176:108534.
18. Hulin M, Annesi-Maesano I, Caillaud D. Indoor air quality at school and allergy and asthma among schoolchildren. Differences between rural and urban areas. *Rev Fr Allergol.* 2011;51(4):419–24.
19. Yoon C, Lee K, Park D. Indoor air quality differences between urban and rural preschools in Korea. *Environ Sci Pollut Res.* 2011;18(3):333–45.
20. Błaszczuk E, Rogula-Kozłowska W, Klejnowski K, Kubiesa P, Fulara I, Mielżyńska-Švach D. Indoor air quality in urban and rural kindergartens: short-term studies in Silesia, Poland. *Air Qual Atmos Heal.* 2017;10(10):1207–20.
21. Ferreira AM da C, Cardoso M. Indoor air quality and health in schools. *J Bras Pneumol.* 2014;40(3):259–68.
22. Muscatiello N, Mccarthy A, Kielb C, Hsu WH, Hwang SA, Lin S. Classroom conditions and CO2 concentrations and teacher health symptom reporting in 10 New York State Schools. *Indoor Air.* 2015;25(2):157–67.

23. Dorizas PV, Assimakopoulos MN, Santamouris M. A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools. *Environ Monit Assess.* 2015;187(5):1–18.
24. Mendell MJ, Eliseeva EA, Davies MM, Lobscheid A. Do classroom ventilation rates in California elementary schools influence standardized test scores? Results from a prospective study. *Indoor Air.* 2016;26(4):546–57.
25. Al-Hemoud A, Al-Awadi L, Al-Rashidi M, Rahman KA, Al-Khayat A, Behbehani W. Comparison of indoor air quality in schools: Urban vs. Industrial 'oil & gas' zones in Kuwait. *Build Environ.* 2017;122:50–60.
26. Vornanen-Winqvist C, Toomla S, Ahmed K, Kurnitski J, Mikkola R, Salonen H. The effect of positive pressure on indoor air quality in a deeply renovated school building - A case study. *Energy Procedia.* 2017;132:165–70.
27. Kalimeri KK, Saraga DE, Lazaridis VD, Legkas NA, Missia DA, Tolis EI, et al. Indoor air quality investigation of the school environment and estimated health risks: Two-season measurements in primary schools in Kozani, Greece. *Atmos Pollut Res.* 2016;7(6):1128–42.
28. Yang J, Nam I, Yun H, Kim J, Oh HJ, Lee D, et al. Characteristics of indoor air quality at urban elementary schools in Seoul, Korea: Assessment of effect of surrounding environments. *Atmos Pollut Res.* 2015;6(6):1113–22.
29. Chatzidiakou L, Mumovic D, Summerfield AJ, Hong SM, Altamirano-Medina H. A Victorian school and a low carbon designed school: Comparison of indoor air quality, energy performance, and student health. *Indoor Built Environ.* 2014;23(3):417–32.
30. Babayiğit MA, Bakir B, Tekbaş ÖF, Oğur R, Kiliç A, Ulus S. Indoor air quality in primary schools in Keçiören, Ankara. *Turkish J Med Sci.* 2014;44(1):137–44.
31. Madureira J, Paciência I, Ramos E, Barros H, Pereira C, Teixeira JP, et al. Children's Health and Indoor Air Quality in Primary Schools and Homes in Portugal—Study Design. *J Toxicol Environ Heal Part A.* 2015;78(13–14):915–30.
32. Pegas PN, Alves CA, Evtugina MG, Nunes T, Cerqueira M, Franchi M, et al. Indoor air quality in elementary schools of Lisbon in spring. *Environ Geochem Health.* 2011;33(5):455–68.